

Закономерности наследования

- Генетика – наука о наследственности и изменчивости
- Закономерности наследования признаков, установленные Г.Менделем
- Формы взаимодействия генов.

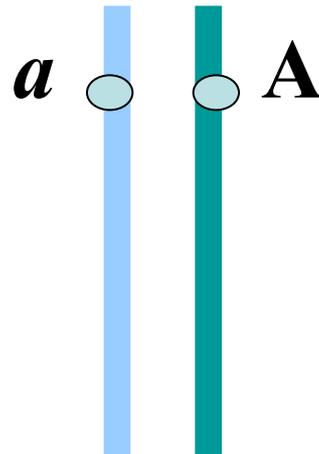


МЕНДЕЛЬ (*Mendel*) Грегор Иоганн (22 июля 1822 - 6 января 1884), ученый-ботаник и религиозный деятель, основоположник учения о наследственности.



Основные понятия в современной формулировке

- **Аллели** находятся в идентичных локусах гомологичных хромосом.
 - **Локус** – место на хромосоме, занимаемое данным геном



A

a

Доминантный

ген

Рецессивный

ген

ГЕНОТИП И ФЕНОТИП



Менделевские признаки



Gypsy Queen



Мендель выбрал 7 пар альтернативных признаков

(ДОМИНАНТНЫЕ – рецессивные)



кожура



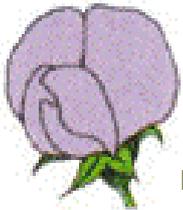
ГЛАДКАЯ – морщинистая



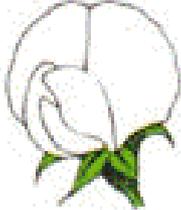
семядоли



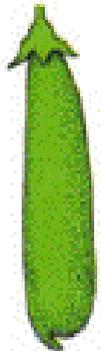
ЖЕЛТЫЕ – зеленые



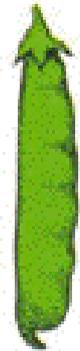
цветки



ФИОЛЕТОВЫЕ – белые



форма
стручков



ВЫПУКЛЫЕ – с перетяжками



окраска
стручков



ЗЕЛЕННЫЕ – желтые



положение
цветков

ПАЗУШНОЕ – верхушечное



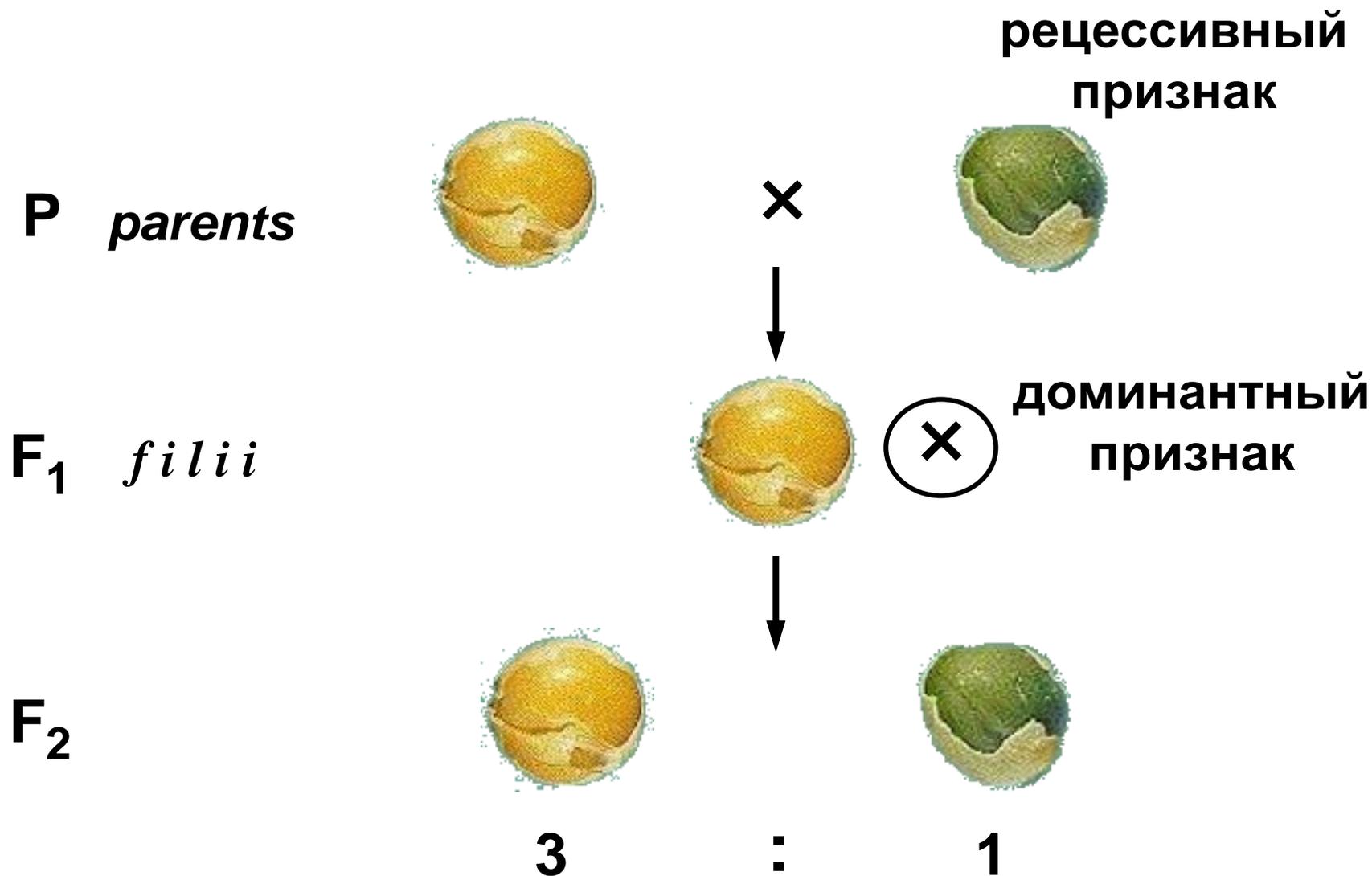
высота
растения

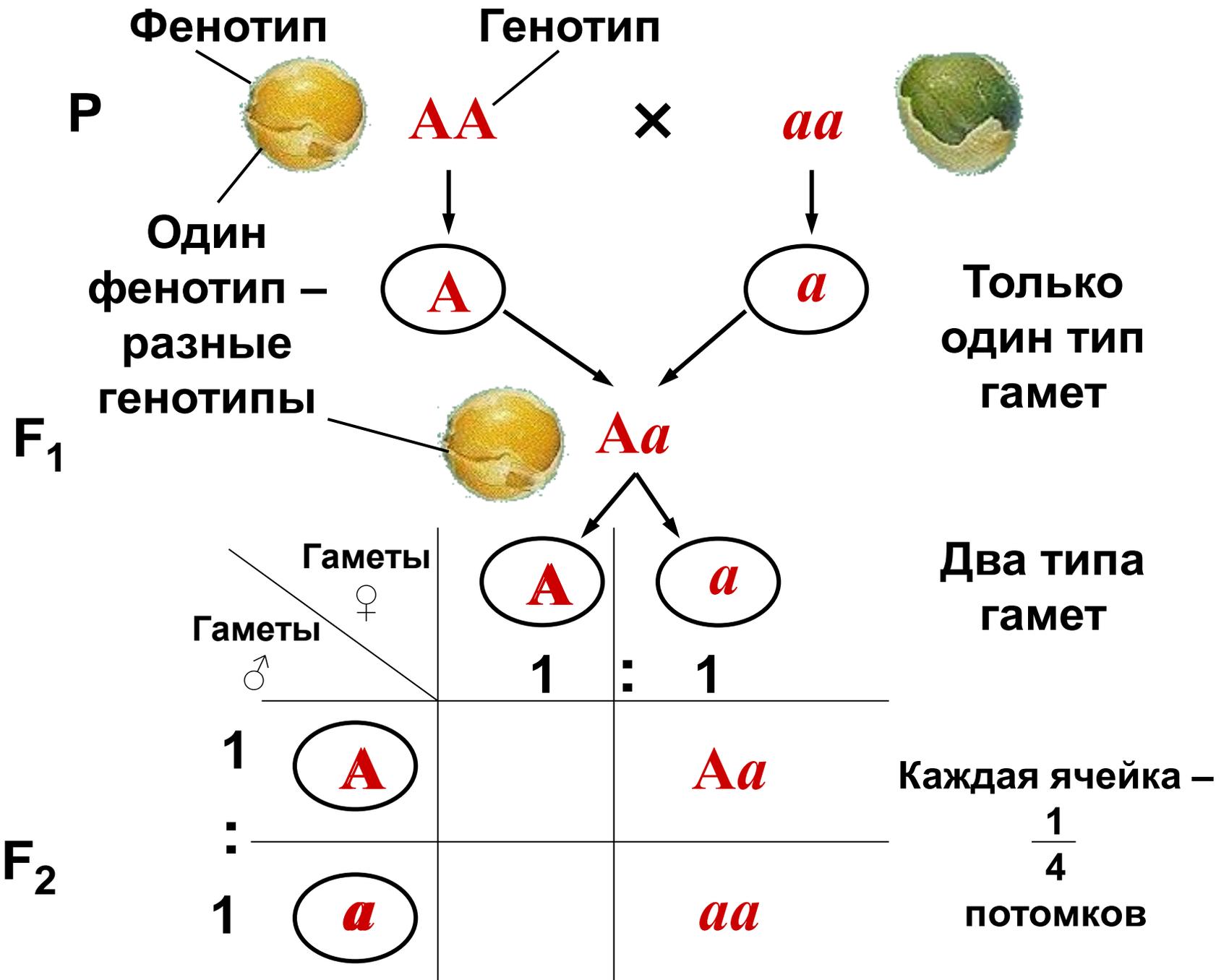
ВЫСОКОЕ – низкое



Время цветения
раннее – позднее

Моногибридное скрещивание





F₂

		Гаметы	
		A	a
Гаметы ♂	♀	1 : 1	
	1 : 1	AA Aa	Aa aa

Решетка
Пеннета

Каждая ячейка –
 $\frac{1}{4}$
ПОТОМКОВ

1 : 2 : 1



3 : **1**
 $\frac{3}{4}$: $\frac{1}{4}$

Расщепление
по генотипу

Расщепление
по фенотипу

1-ый закон Менделя

закон доминирования
(закон единообразия)

При скрещивании гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по одной паре альтернативных признаков, всё потомство в первом поколении единообразно по фенотипу и генотипу.

2-ой закон Менделя

закон расщепления гибридов

При скрещивании двух гетерозиготных особей, анализируемых по одной паре альтернативных признаков, в потомстве ожидается расщепление по фенотипу $3 : 1$, по генотипу $1 : 2 : 1$.

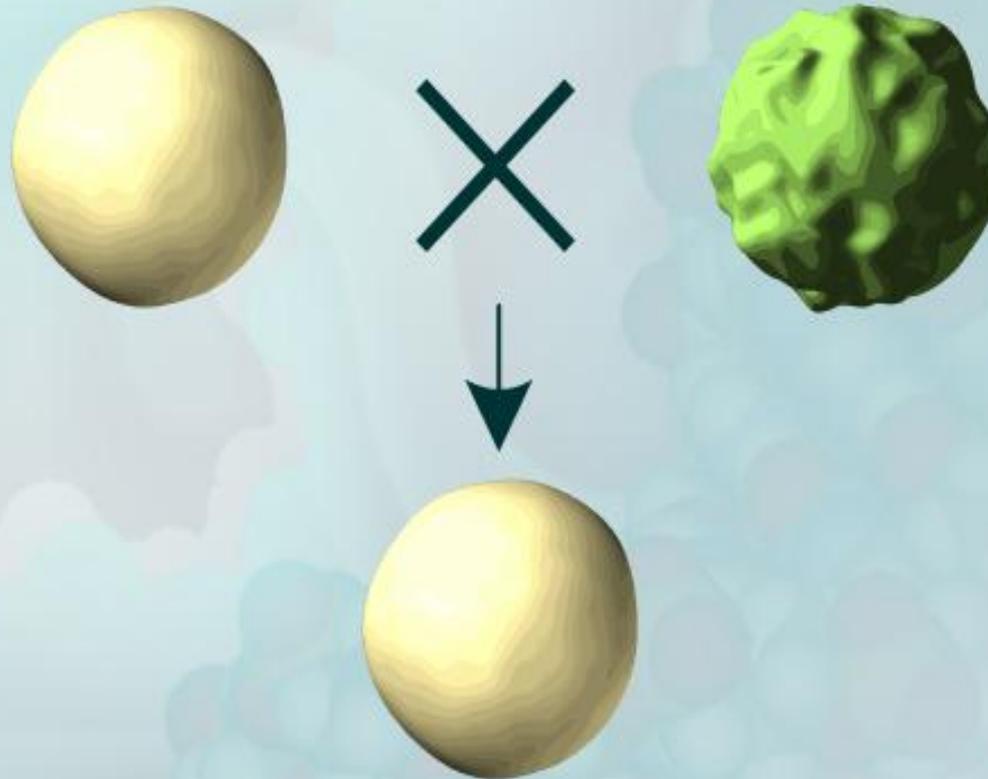
Правило чистоты гамет

Аллельные гены, находясь с гетерозиготном состоянии, не сливаются, не разбавляются, не изменяют друг друга.

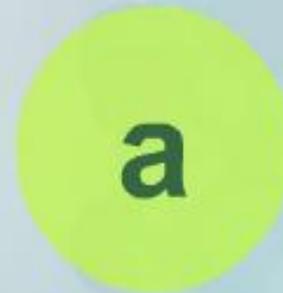
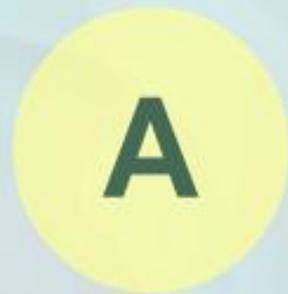
3-ий закон Менделя

при скрещивании гомозиготных особей, отличающихся по двум парам альтернативных признаков, во втором поколении происходит независимое комбинирование признаков и появляются гибриды с признаками, не характерными для родительских форм.

ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ



ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

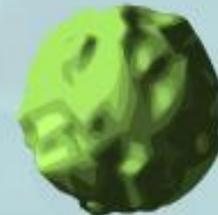


ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Родители



AABB



aabb

Гаметы



AB



ab

Первое поколение (F₁)



AaBb

ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Родители



AABb



aabb

Гаметы

AB

ab

Первое поколение (F₁)



AaBb

Гаметы

AB

Ab

aB

ab

ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Первое поколение (F₁)


AaBb

×


AaBb

Гаметы

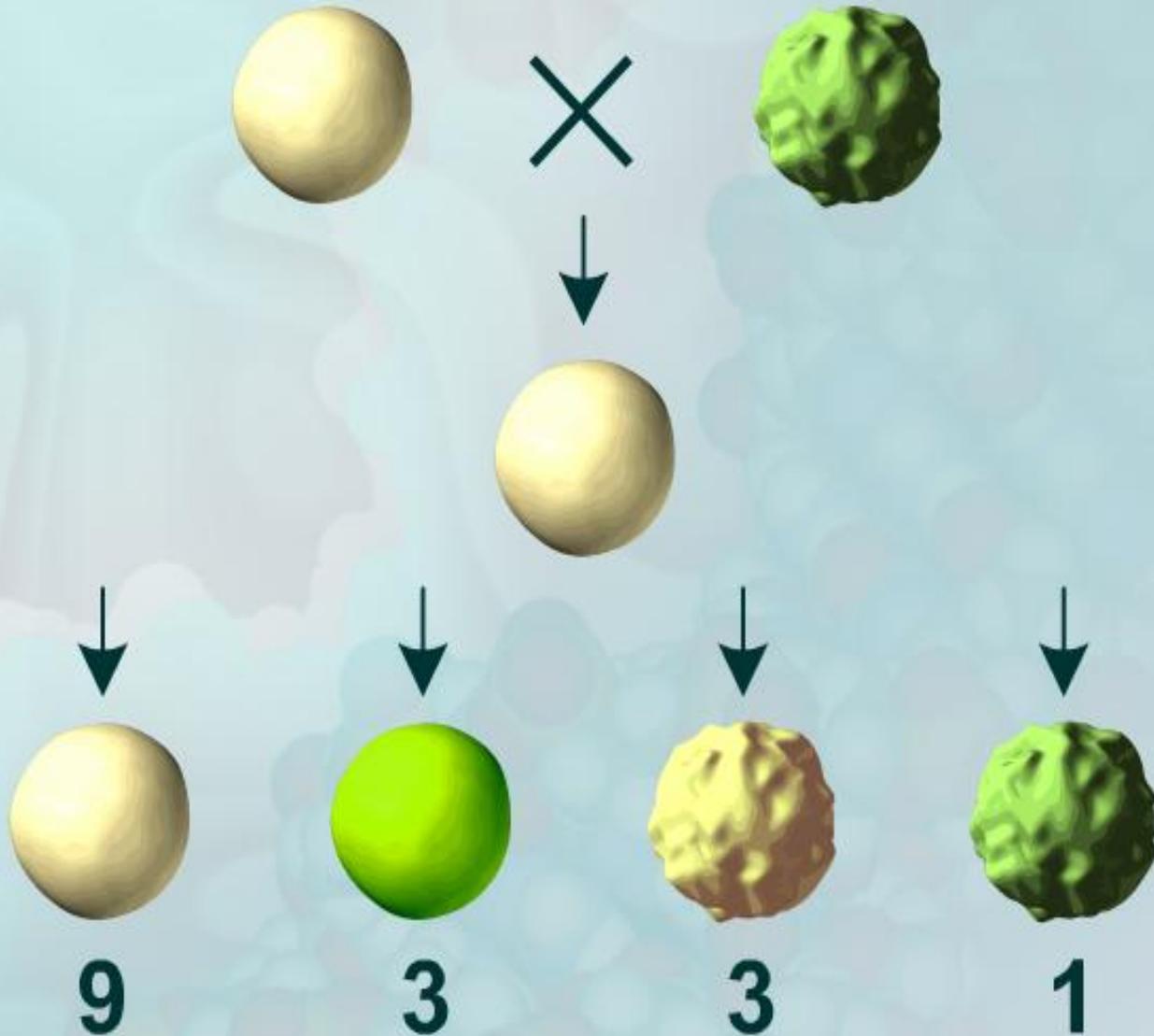
(AB) (Ab) (aB) (ab)

(AB) (Ab) (aB) (ab)

Гаметы ♂ ♀	AB	Ab	aB	ab
AB	 AABB	 AABb	 AaBB	 AaBb
Ab	 AABb	 AAbb	 AaBb	 Aabb
aB	 AaBB	 AaBb	 aaBB	 aaBb
ab	 AaBb	 Aabb	 aaBb	 aabb

Второе поколение (F₂)

ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ



ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Первое поколение (F₁)



AaBb



AaBb

Гаметы

AB Ab aB ab

AB Ab aB ab

Гаметы ♂ ♀	AB	Ab	aB	ab
AB	 AABB	 AABb	 AaBB	 AaBb
Ab	 AABb	 AAbb	 AaBb	 Aabb
aB	 AaBB	 AaBb	 aaBB	 aaBb
ab	 AaBb	 Aabb	 aaBb	 aabb

Второе поколение (F₂)



9

:

3

:

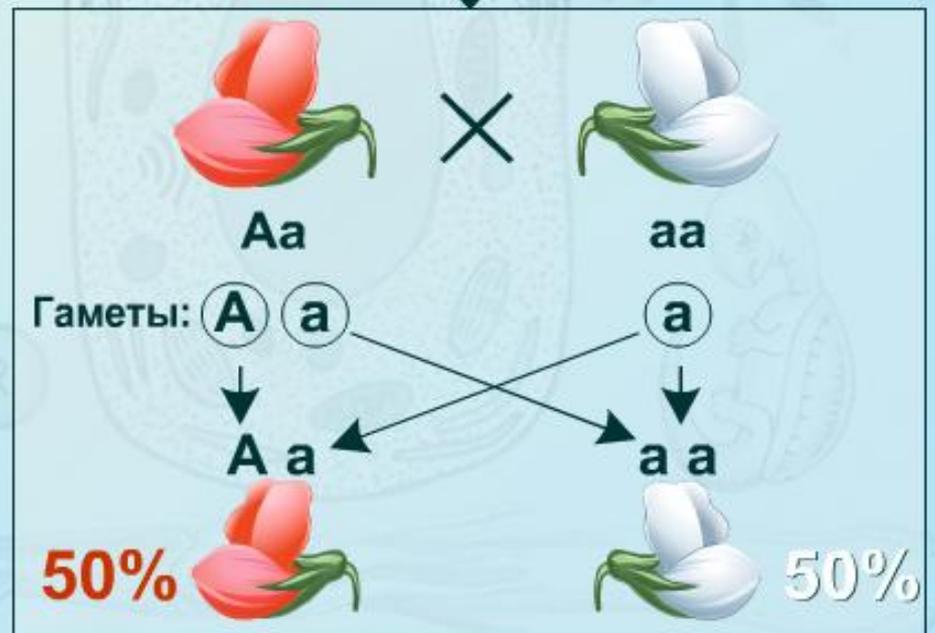
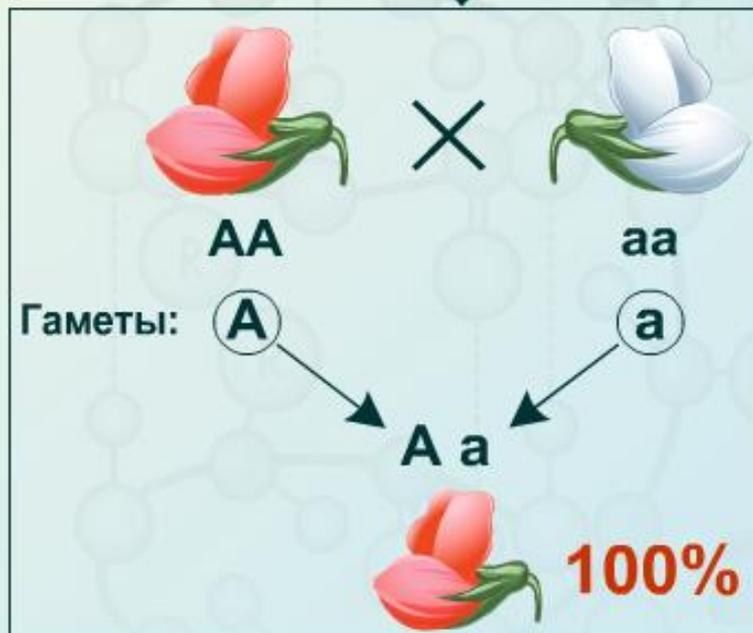
3

:

1

АНАЛИЗИРУЮЩЕЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Доминантная гомозигота или гетерозигота?



Взаимодействие генов

аллельные

* доминирование

* неполное доминирование

* сверхдоминирование

* кодоминирование

неаллельные

* комплементарность

* эпистаз

~ доминантный

~ рецессивный

* полимерия

Полное доминирование

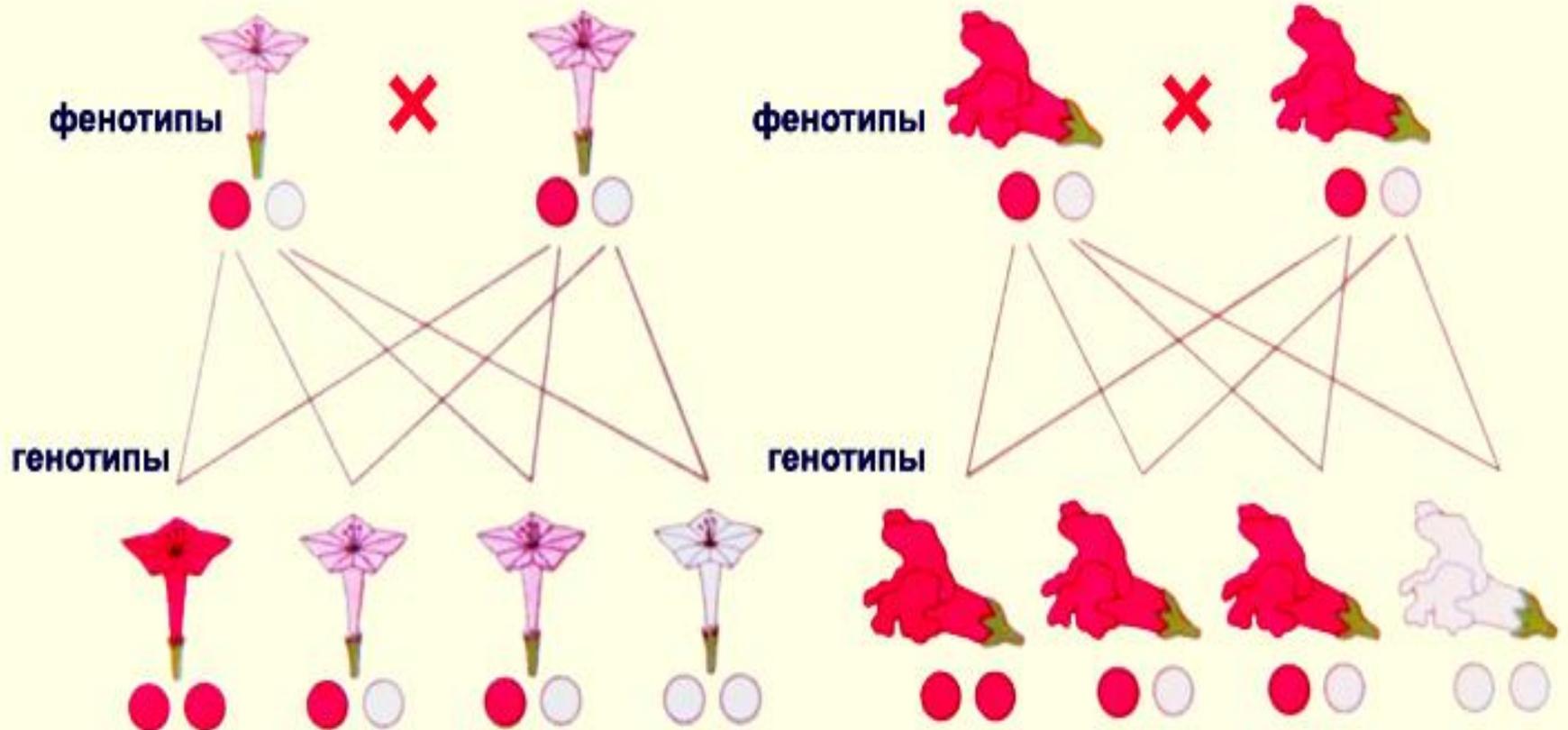


Неполное доминирование



чистые линии гаметы гибриды гаметы потомство

Неполное и полное доминирование

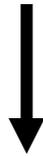


Неполное доминирование у норки



++

×



hh

F₁



+h

×



+h

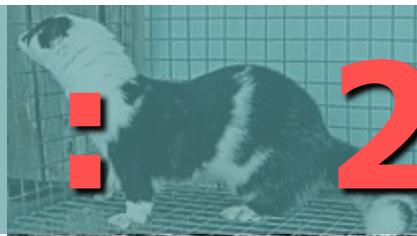


F₂



1

++



:

2

+h



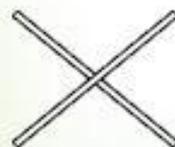
:

+h



1

hh

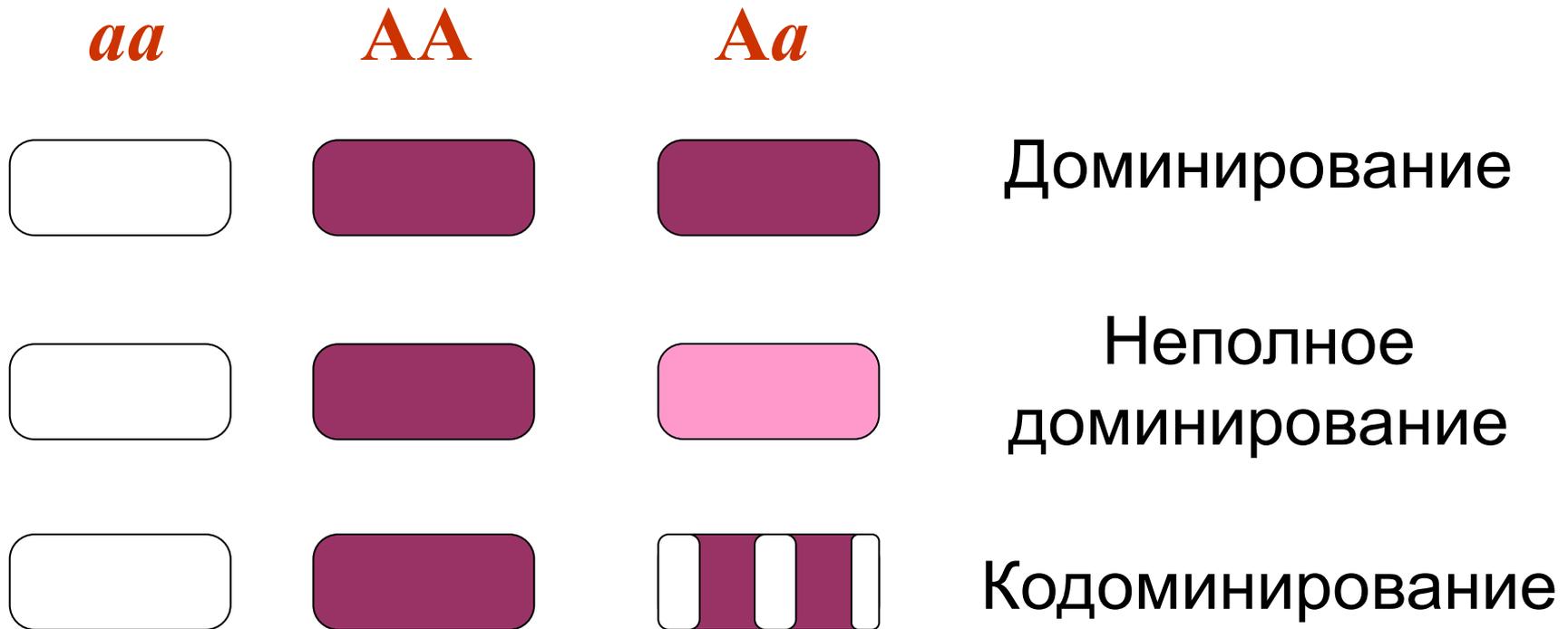


Гетерозис - ускорение роста, увеличение размеров, повышение жизнестойкости и плодовитости гибридов первого поколения по сравнению с родительскими формами растений или животных.

Гетерозис широко используется в растениеводстве для получения гибридных семян, обладающих высокой урожайностью

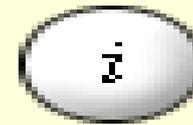
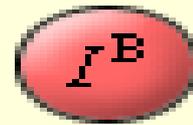
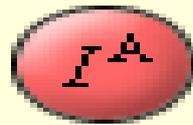
Кодоминирование

- Оба родительских признака у гетерозиготы проявляются **в полной мере**

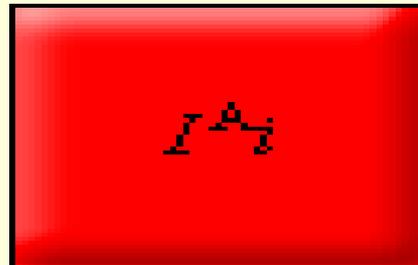
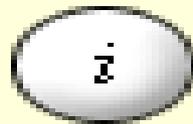
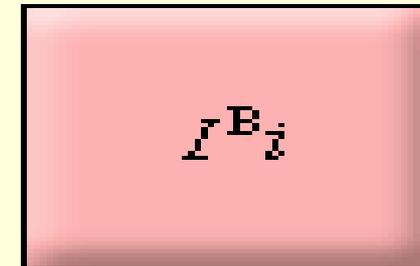
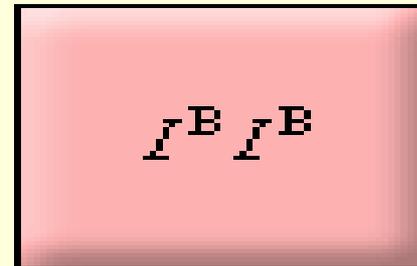
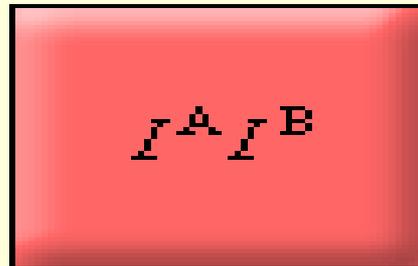
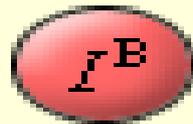
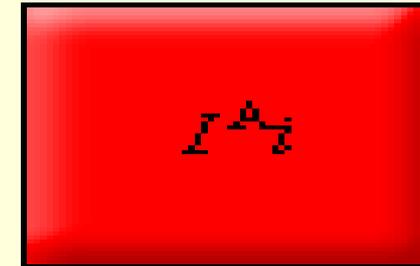
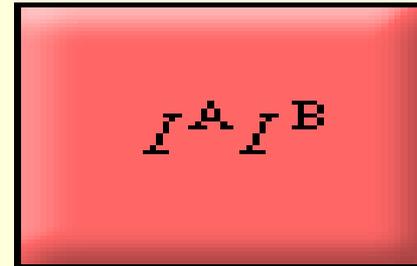


Группа крови	Агглютиногены на эритроцитах	Агглютинины в плазме
I(0)	Отсутствуют (0)	α и β
II(A)	A	β
III (B)	B	α
IV (AB)	A и B	отсутствуют (0)

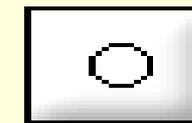
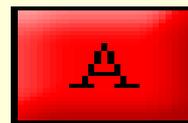
Возможные аллели женщины



Возможные аллели мужчины



Группы крови



Множественный аллелизм

У особи всегда – ровно 2 аллеля каждого гена.

Но **в популяции** может быть **> 2 разных** аллелей



+ (w^+)

w (*white*)

w^a (*white^{apricot}*)

Аллели одного гена всегда обозначаются **одной буквой** с верхними индексами: **A, a, a^{2006}, a^{Nsk}**

a^+ = + аллель дикого типа (видовая норма)

Аллели гена окраски **C** у кроликов



$C > c^{ch}, c^h, c$
 $c^h > c$
 $c^{ch} \geq c^h, c$
неполное домин.

Серый (дикий тип) $C_$ Шиншилла $c^{ch}c^{ch}$



Светло-серый
 $c^{ch}c^h$ $c^{ch}c$



Гималайский
 $c^h c$ $c^h c^h$



Альбинос
 cc

Ген → развитие признака

Хромосома

ДНК

Ген 2

Ген 1

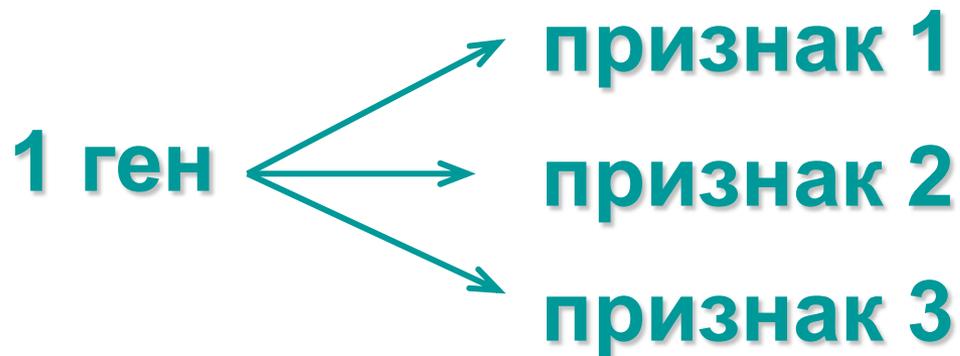


Серповидноклеточная анемия



Плейотропные гены

– гены, влияющие сразу на несколько признаков.

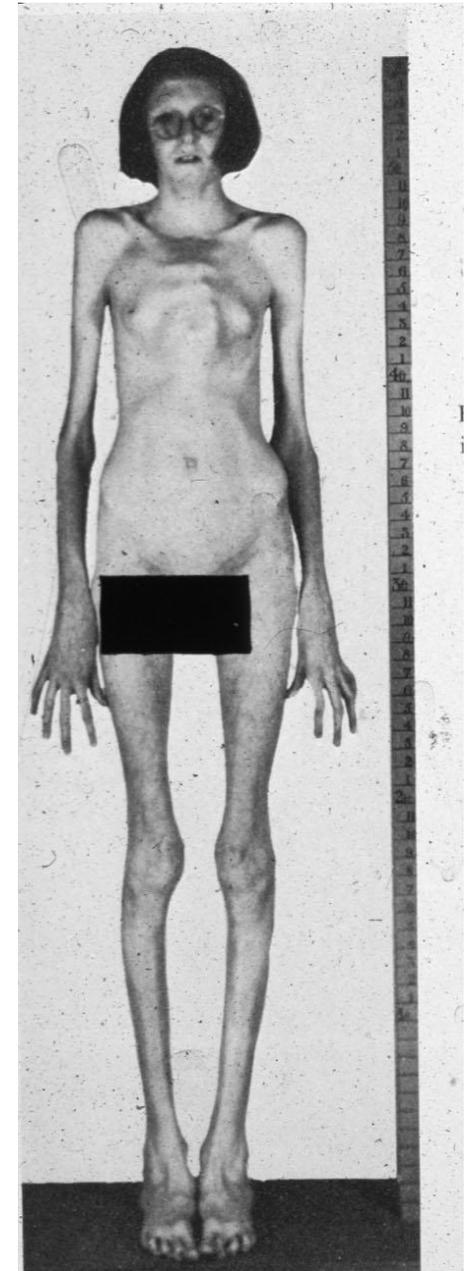


Плейотропный рецессивный ген у человека: шестипалость и короткие конечности.

Плейотропный доминантный ген человека – синдром Марфана

- крайне высокий рост
- «паучьи пальцы»
- дефект развития всей соединительной ткани
 - ↓
 - вывих хрусталика
 - врожденный порок сердца

Ген кодирует **фибриллин** – белок,
соединительной ткани



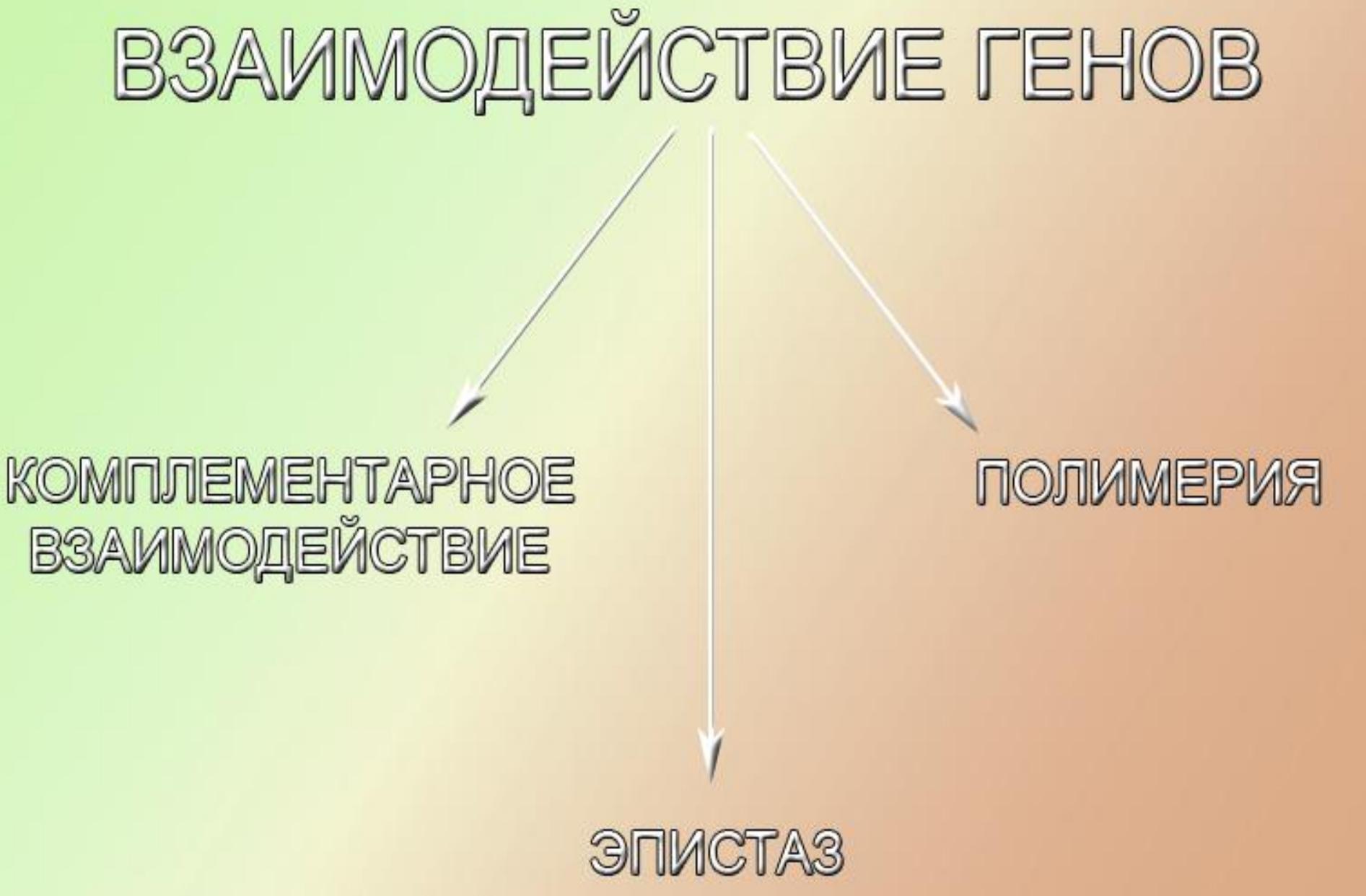
Плейотропные гены



Ген **W** (*White*) кошек – белый цвет, голубые глаза, глухота

- Блокирует миграцию стволовых кл. меланоцитов (пигментных клеток) к коже
- В норме слуховые рецепторы возникают из тех же стволовых клеток, что и меланоциты → их отсутствие влечет глухоту.
- Ген эпистатичен – другие гены окраски на его фоне не проявляются

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ



КОМПЛЕМЕНТАРНОЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

ЭПИСТАЗ

ПОЛИМЕРИЯ

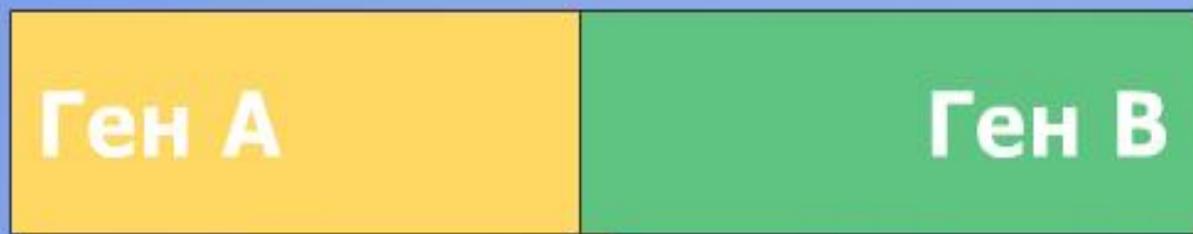


КОМПЛЕМЕНТАРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Наследование признаков при комплементарном взаимодействии генов
(на примере окраски цветков у душистого горошка)

P:	 AAbb	X	 aaBB
G:	 Av		 aB
F ₁ :	 AaBb		

A – отвечает за синтез бесцветного предшественника пигмента – пропигмента;
a – не происходит синтеза пропигмента;
B – определяет синтез фермента, под действием которого из пропигмента образуется пигмент красного цвета;
b – синтез фермента не происходит.

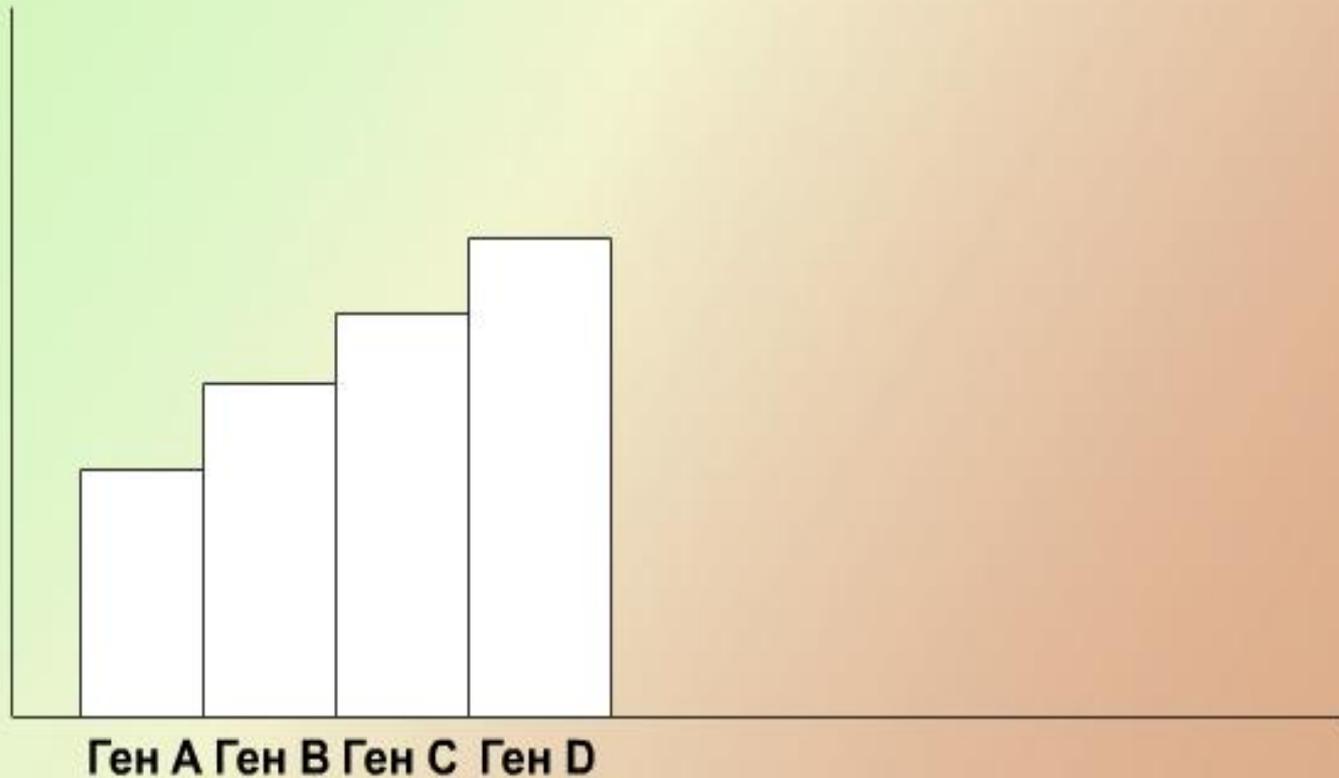


ЭПИСТАЗ

НАСПЕДОВАНИЕ ОКРАСКИ У КУР



СТЕПЕНЬ ВЫРАЖЕННОСТИ ПРИЗНАКА



ПОЛИМЕРИЯ

Полимерия



$A_1A_1A_2A_2$



$a_1a_1a_2a_2$



Полимерия

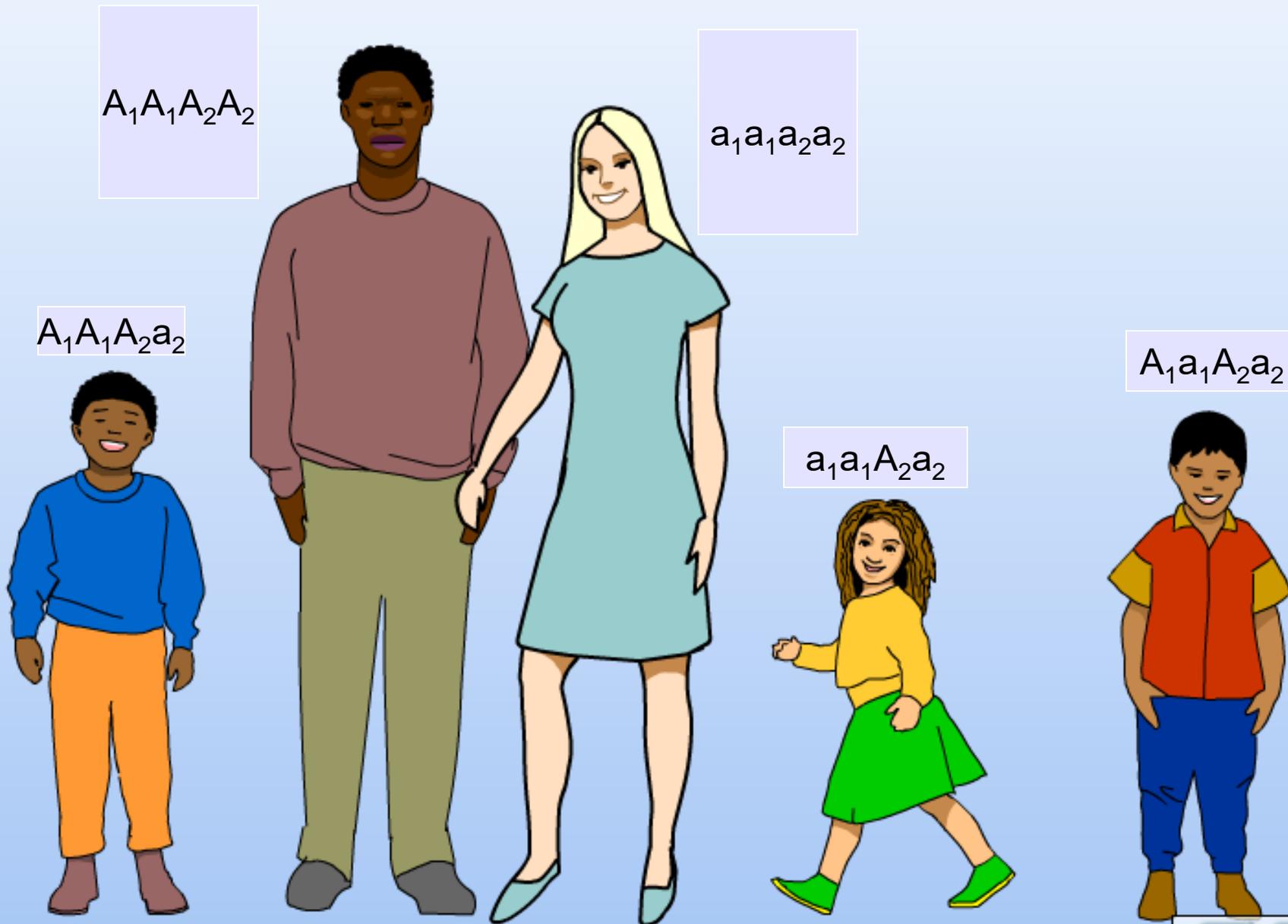
$A_1A_1A_2A_2$

$a_1a_1a_2a_2$

$A_1A_1A_2a_2$

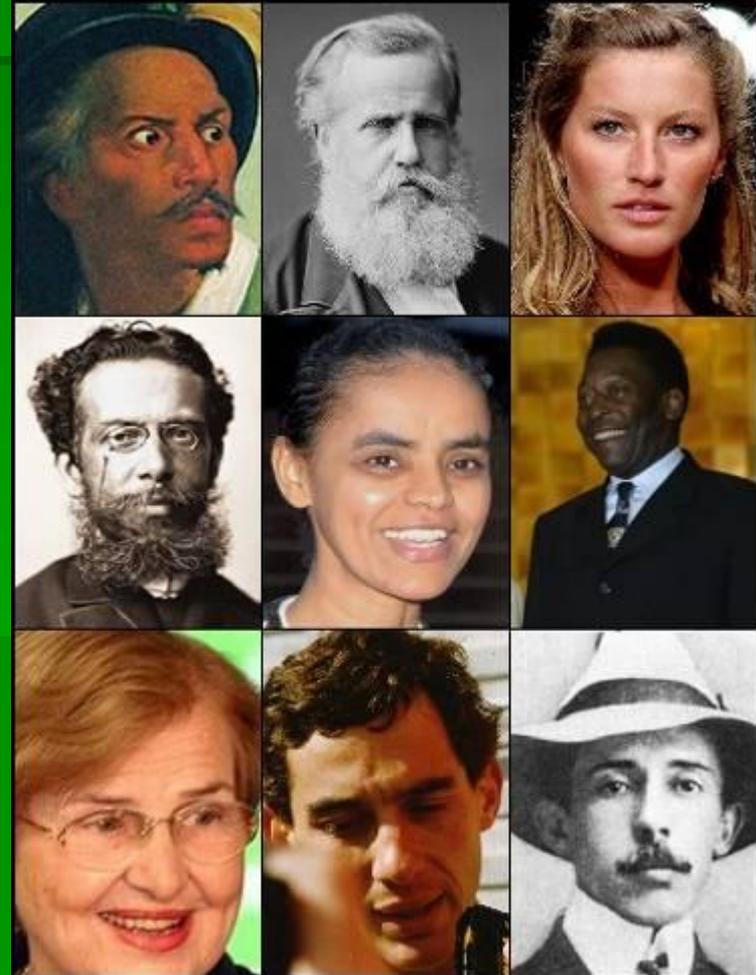
$A_1a_1A_2a_2$

$a_1a_1A_2a_2$



Наследование цвета кожи у человека:

- $A_1A_1A_2A_2$ – темнокожие
- $A_1A_1A_2a_2$ или $A_1a_1A_2A_2$ – темные мулаты
- $A_1a_1A_2a_2$ или $a_1a_1A_2A_2$ или $A_1A_1a_2a_2$ – средние мулаты
- $A_1a_1a_2a_2$ или $a_1a_1A_2a_2$ – светлые мулаты
- $a_1a_1a_2a_2$ – белые



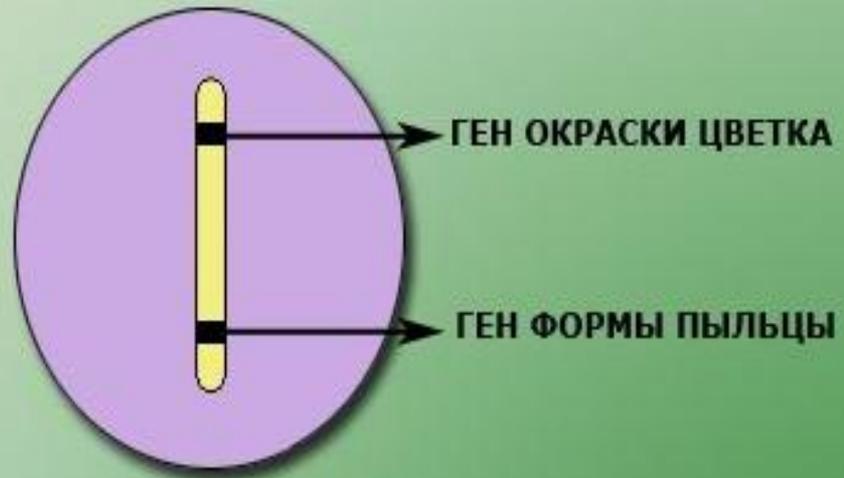
В каком случае у средних мулатов может родиться белый ребенок?

■ P $A_1a_1A_2a_2$ O — $A_1a_1A_2a_2$
средний мулат средний мулат

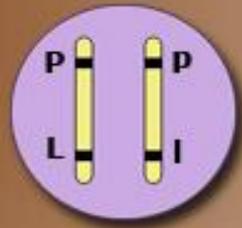
■ F₁ $a_1a_1a_2a_2$
белый



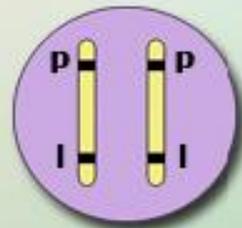
Доминантные	×	Рецессивные	Доми- нантные	Рецес- сивные	Общее количество	Соотно- шение
	×	Гладкие семена Морщинистые семена 	5474	1850	7324	2,96 : 1
	×	Желтые семена Зеленые семена 	6022	2001	8023	3,01 : 1
	×	Пурпурные цветки Белые цветки 	705	224	929	3,15 : 1
	×	Гладкие плоды Плоды с перетяжками 	882	299	1181	2,95 : 1
	×	Зеленые плоды Желтые плоды 	428	152	580	2,82 : 1
	×	Пазушные цветки Верхушечные цветки 	651	207	858	3,14 : 1
	×	Высокий стебель (1 м) Низкий стебель (0,3 м) 	787	277	1064	2,84 : 1



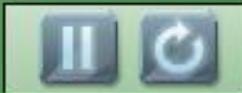
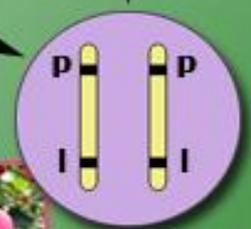
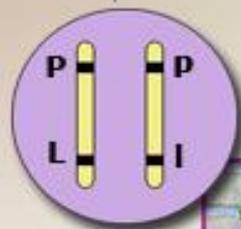
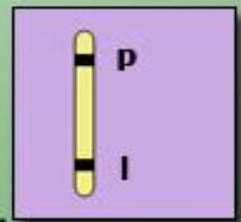
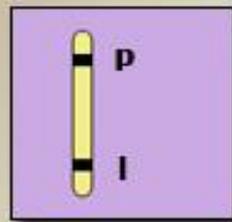
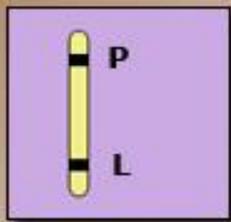
♂



X



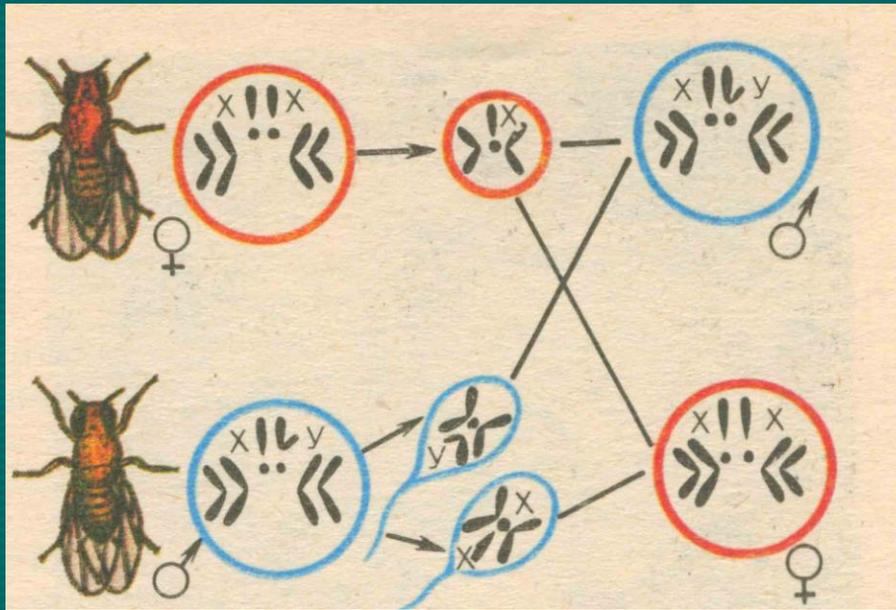
♀



Основоположник хромосомной теории Т.Х. Морган



МОРГАН
Томас Хант



Объект исследования Моргана
– **плодовая мушка дрозофила**

- Мушка каждые две недели при температуре 25 С даёт многочисленное потомство.
- Самец и самка внешне хорошо различимы – у самца брюшко меньше и темнее.
- Они имеют отличия по многочисленным признакам.
- Мушки могут размножаться в пробирках на дешёвой питательной среде

A - серое тело

a - чёрное тело

B - длинные крылья

b - зачаточные крылья

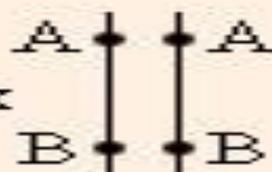
Скрещивание между родителями

P

Фенотипы родительских особей

Серое тело, длинные крылья × Чёрное тело, зачаточные крылья

Генотипы
родительских
особей

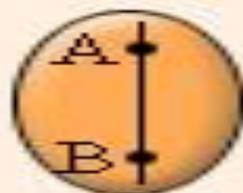


×

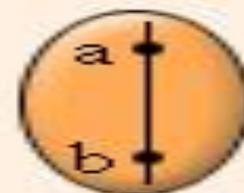


Мейоз

Гаметы



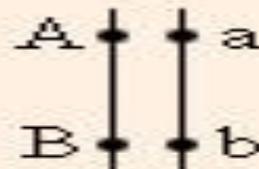
×



Случайное оплодотворение

F₁

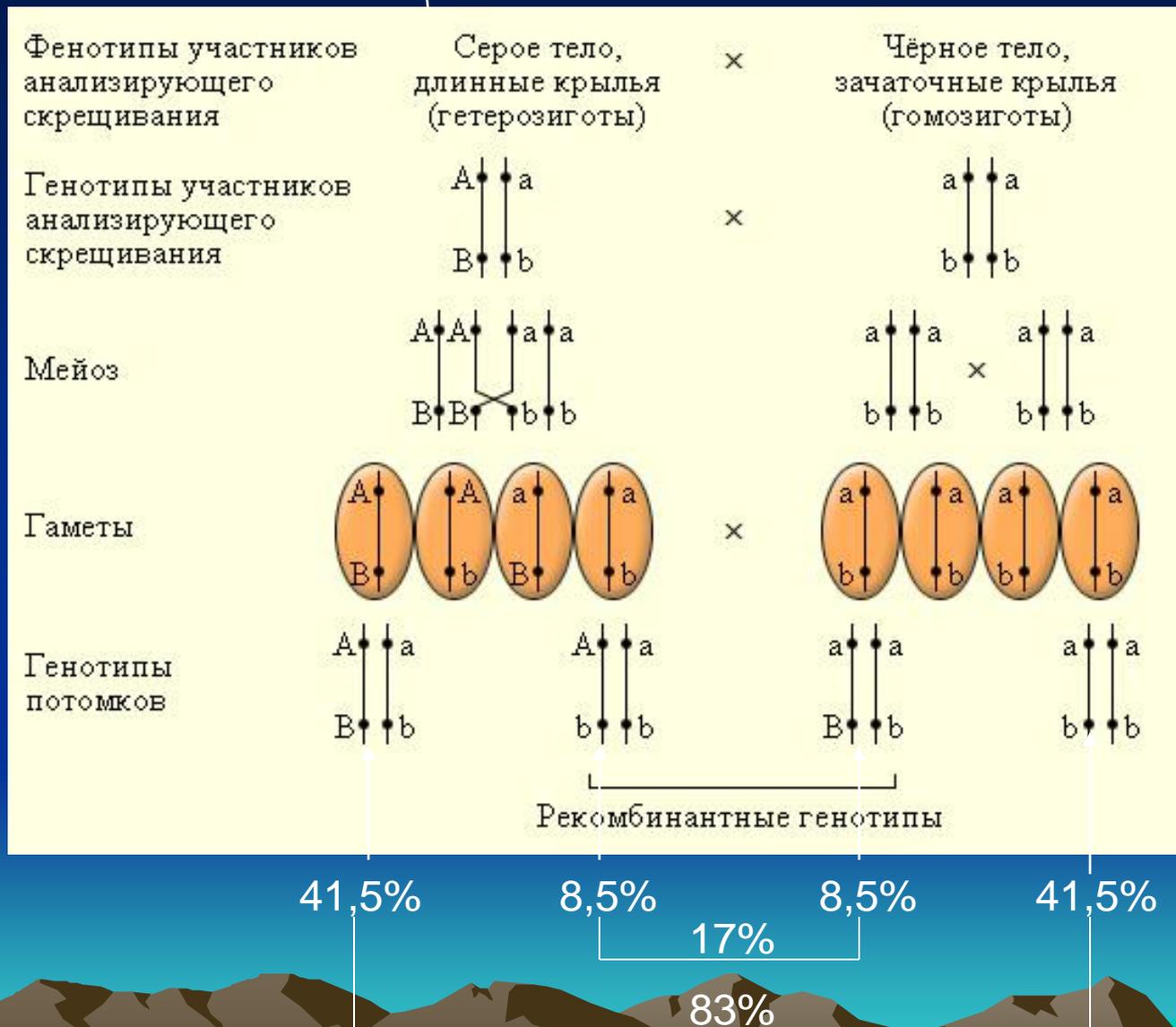
Генотипы
первого
поколения



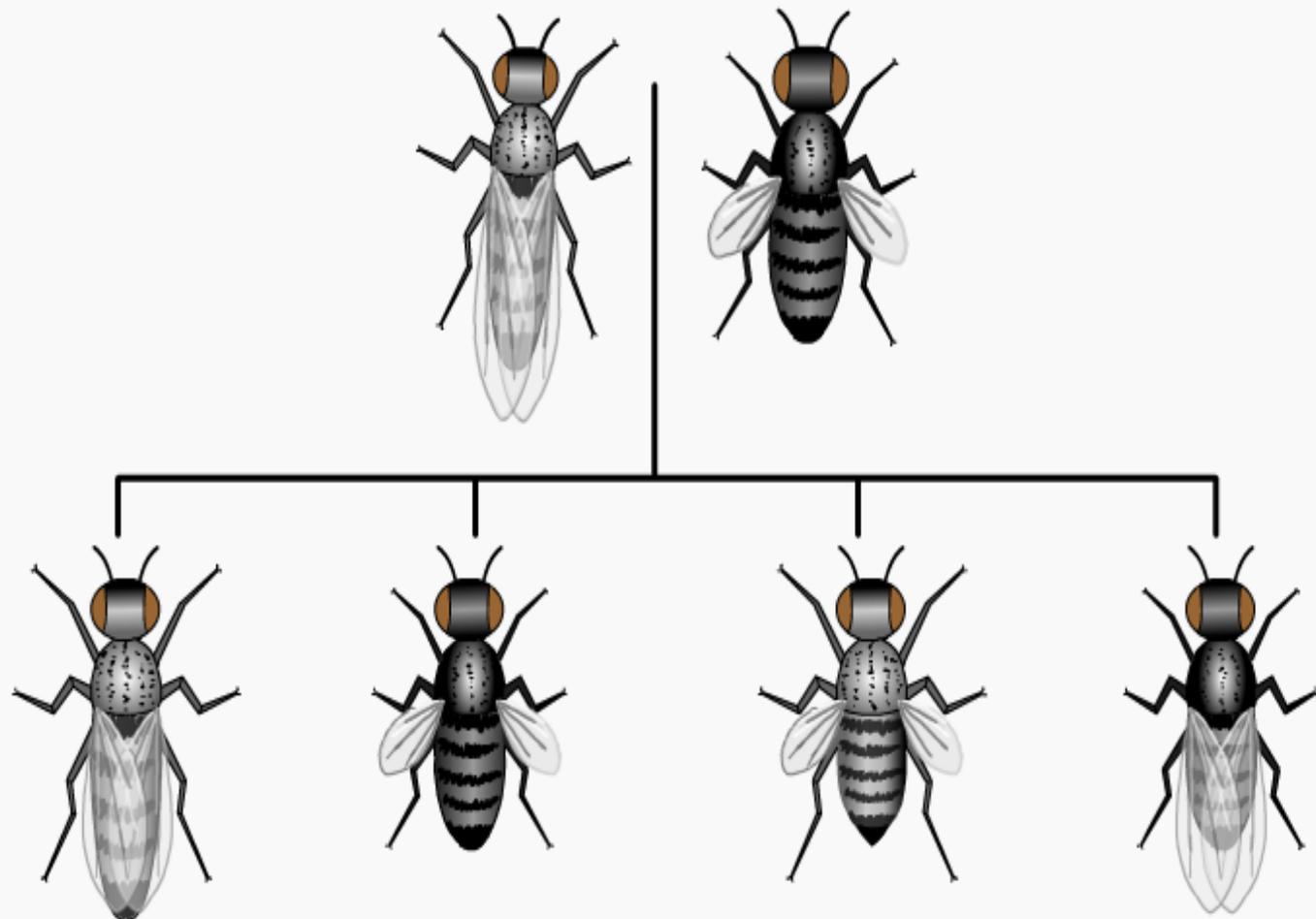
Фенотипы
первого
поколения

Все потомки - гетерозиготы с серым телом и длинными крыльями

Кроссинговер на языке хромосом



Исследования генетиков начала XX века показали, что **кроссинговер** имеет место в результате разрыва и рекомбинации гомологичных хромосом и происходит практически между всеми хромосомами.



41,5

Серые с
длинными
крыльями

:

41,5

черные с
зачаточными
крыльями

:

8,5

серые с
зачаточными
крыльями

:

8,5

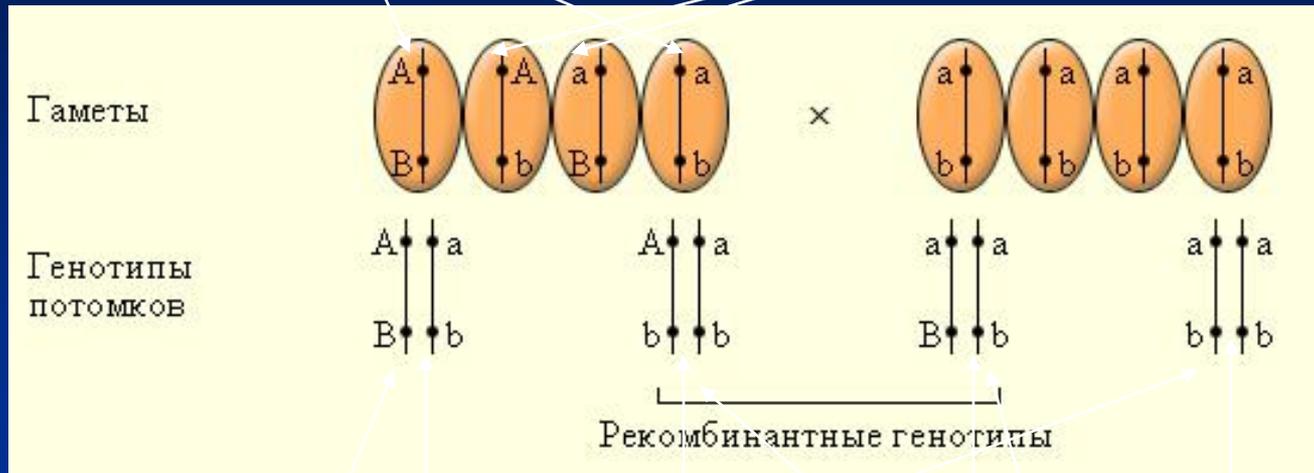
черные с
длинными
крыльями



Кроссинговер на языке хромосом

некроссоверные гаметы

кроссоверные гаметы



41,5%

8,5%

8,5%

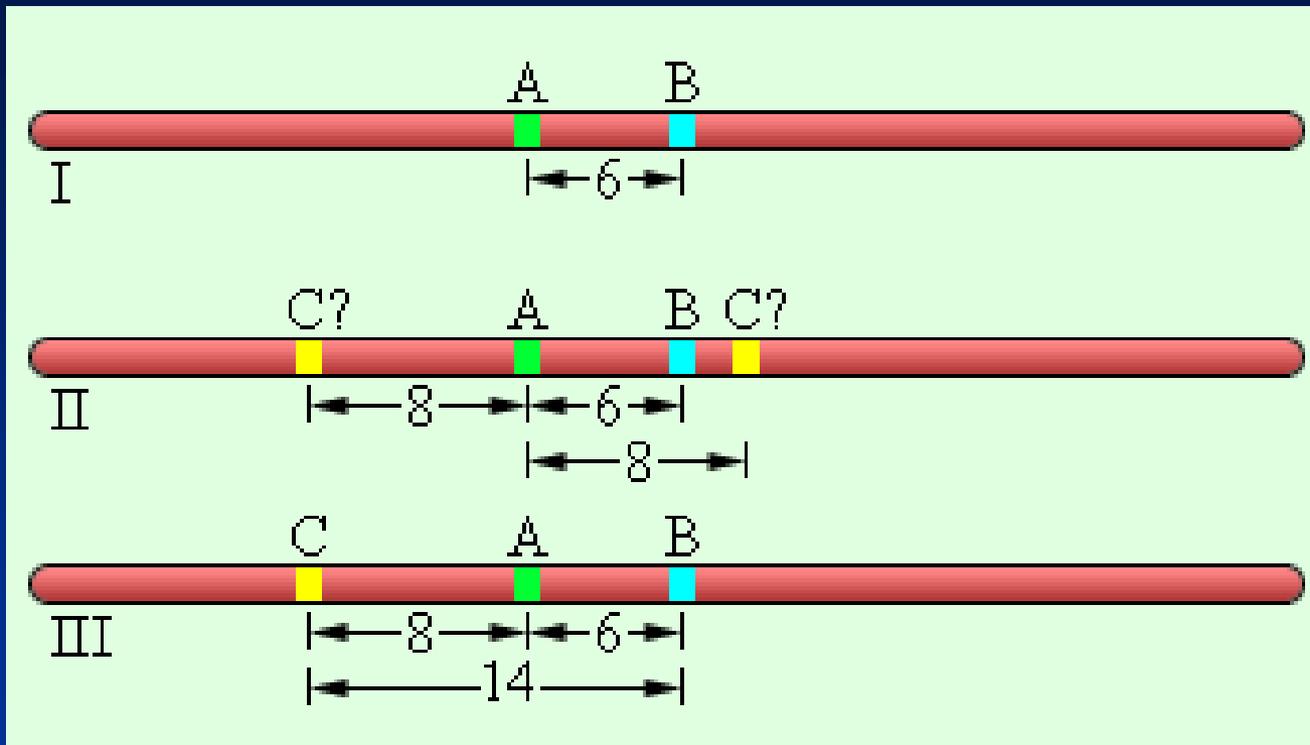
41,5%

17%

83%

Нерекомбинантные особи

Рекомбинантные особи



Чем дальше друг от друга находятся гены, тем выше частота рекомбинации.

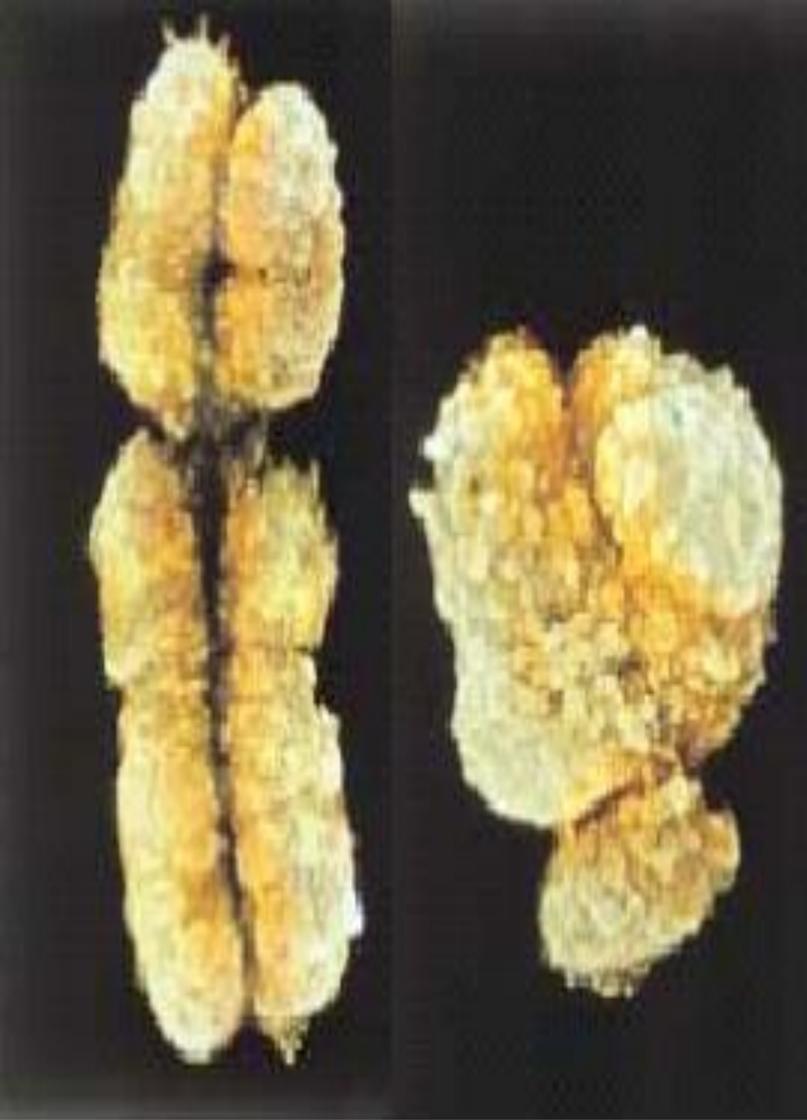
Сцепление может быть полным (рекомбинация невозможна) и неполным (рекомбинация возможна)

В честь Т.Моргана единица расстояния между генами названа морганидой.

Хромосомная теория наследственности

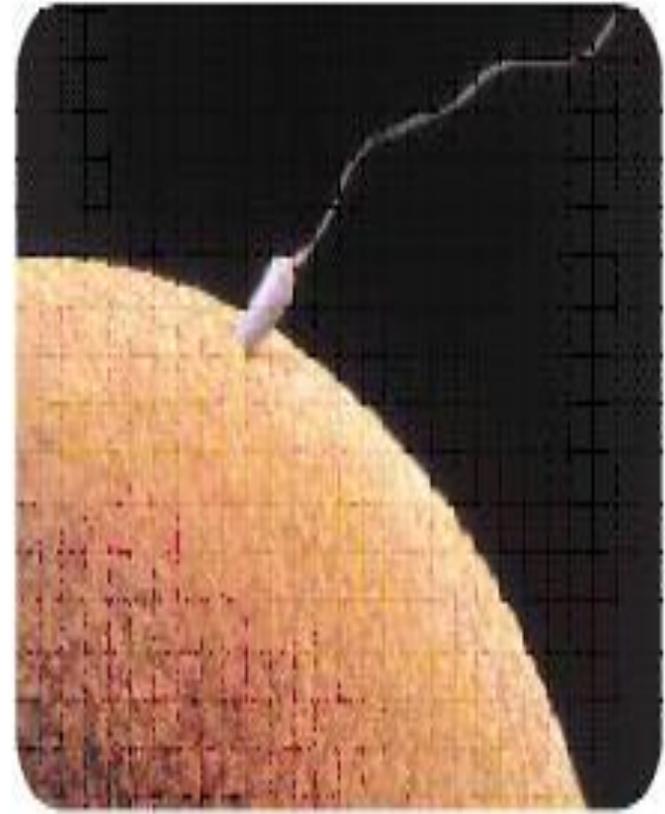
- Гены находятся в хромосомах. Каждая хромосома представляет собой группу сцепления генов. Число групп сцепления у каждого вида равно гаплоидному числу хромосом.
- Каждый ген в хромосоме занимает определенное место (локус). Гены в хромосоме расположены линейно.
- Между гомологичными хромосомами может происходить обмен аллельными генами.
- Расстояние между генами в хромосоме пропорционально проценту кроссинговера между ними.





Микрофотография X-хромосомы (слева) и Y хромосомы (справа).

(Biophoto Associates/Photo Researchers.)



Гаплоидный набор яйцеклетки млекопитающих всегда содержит X хромосому, а спермий может нести либо X, либо Y-хромосому.

Хромосомы

Аутосомы

– хромосомы,
одинаковые у обоих полов.

Половые

(гетерохромосомы)

-хромосомы, по которым
мужской и женский пол
-отличаются

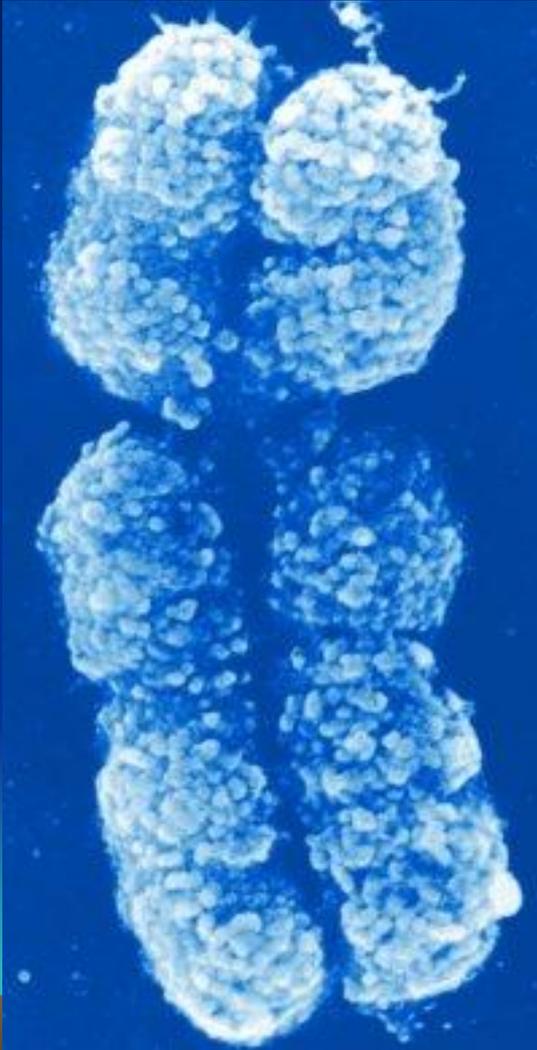
У человека

46 хромосом (23 пары)

22 пары аутосом

1 пара
половых хромосом

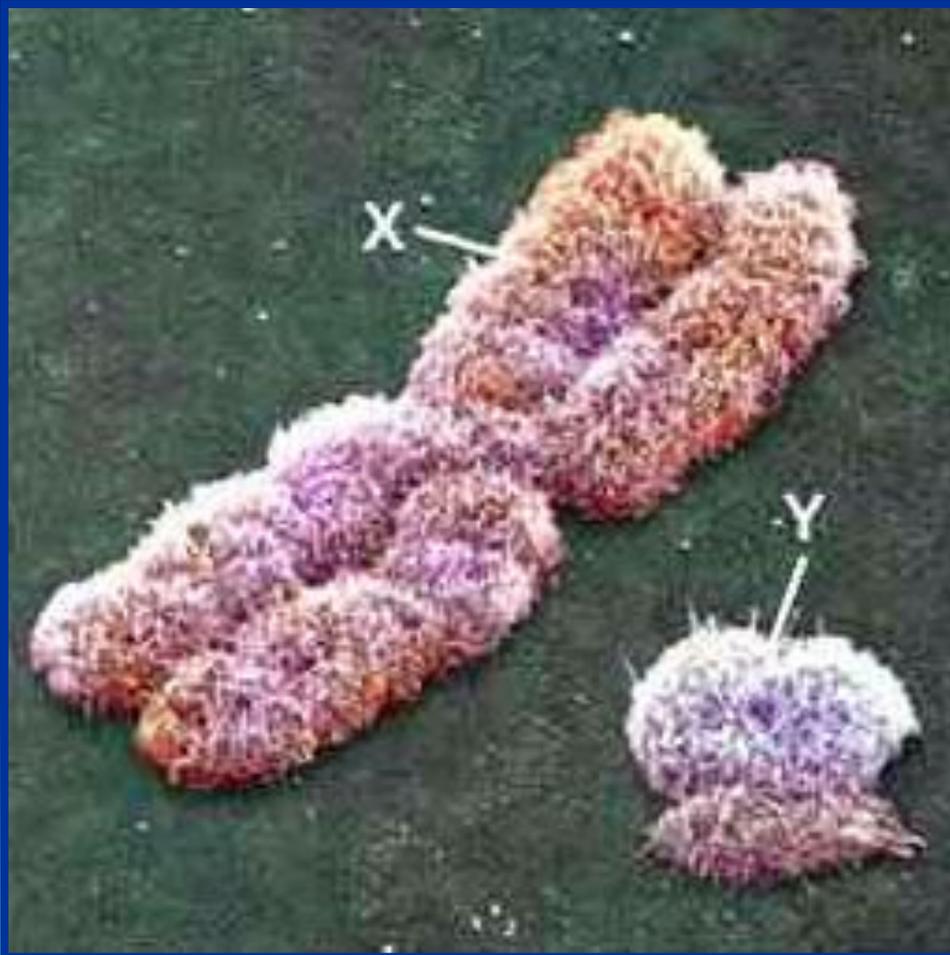
Половые хромосомы



- X - Хромосома связана с больше чем 300 болезнями (дальтонизм, аутизм, гемофилия, умственное развитие, мускульная дистрофия).
- X - хромосомы могут затрагивать мужчин, т.к. они не имеют другой X хромосомы, чтобы дать компенсацию за ошибки.

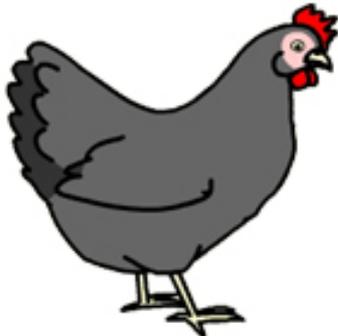
X-хромосома

Половые хромосомы



Y-хромосомы

- Меньше размером, чем X-хромосома
- Содержит меньшее количество генов
- Известны несколько признаков, гены которых только в Y-хромосомах и передаются от отца всем сыновьям, внукам и т.д.

	ГОМОГАМЕТНЫЙ ПОЛ	ГЕТЕРОГАМЕТНЫЙ ПОЛ
ЧЕЛОВЕК	♀  XX 	♂  XY 
ПТИЦА	♂  ZZ 	♀  ZW 

Пол, формирующий гаметы, одинаковые по половым хромосомам, называют гомогаметным, а неодинаковые – гетерогаметным.

Типы определения пола:

- **Сингамный** - преобладание женской или мужской тенденции развития проявляется в момент слияния гамет и образования зиготы (характерна для большинства растений, птиц, рыб и млекопитающих).
- **Прогамный** — пол определяется до оплодотворения, встречается у немногих организмов (коловраток, первичных кольчецов, тлей).
- **Эпигамный**, - происходящий после оплодотворения. Он наиболее редок. Пример — морской червь (*Bonellia viridis*)

Самка бонеллии



**Существует 5 типов
хромосомного определения
пола:**



1 тип ♀ XX, ♂ XY



- Характерен для млекопитающих, в том числе для человека, червей, ракообразных, большинства насекомых, земноводных, некоторых рыб.

2 тип ♀ ХУ ♂ ХХ

- **Характерен для птиц, пресмыкающихся, некоторых земноводных и рыб, некоторых насекомых (чешуекрылых).**



3 тип ♀ XX ♂ XO

- (0 обозначает отсутствие хромосом) встречается у некоторых насекомых (прямокрылые)



4 тип ♀ X0 ♂ XX

- Встречается у некоторых насекомых (равнокрылые-цикады, тли)



5 ТИП

Гаплоидно- диплоидный тип

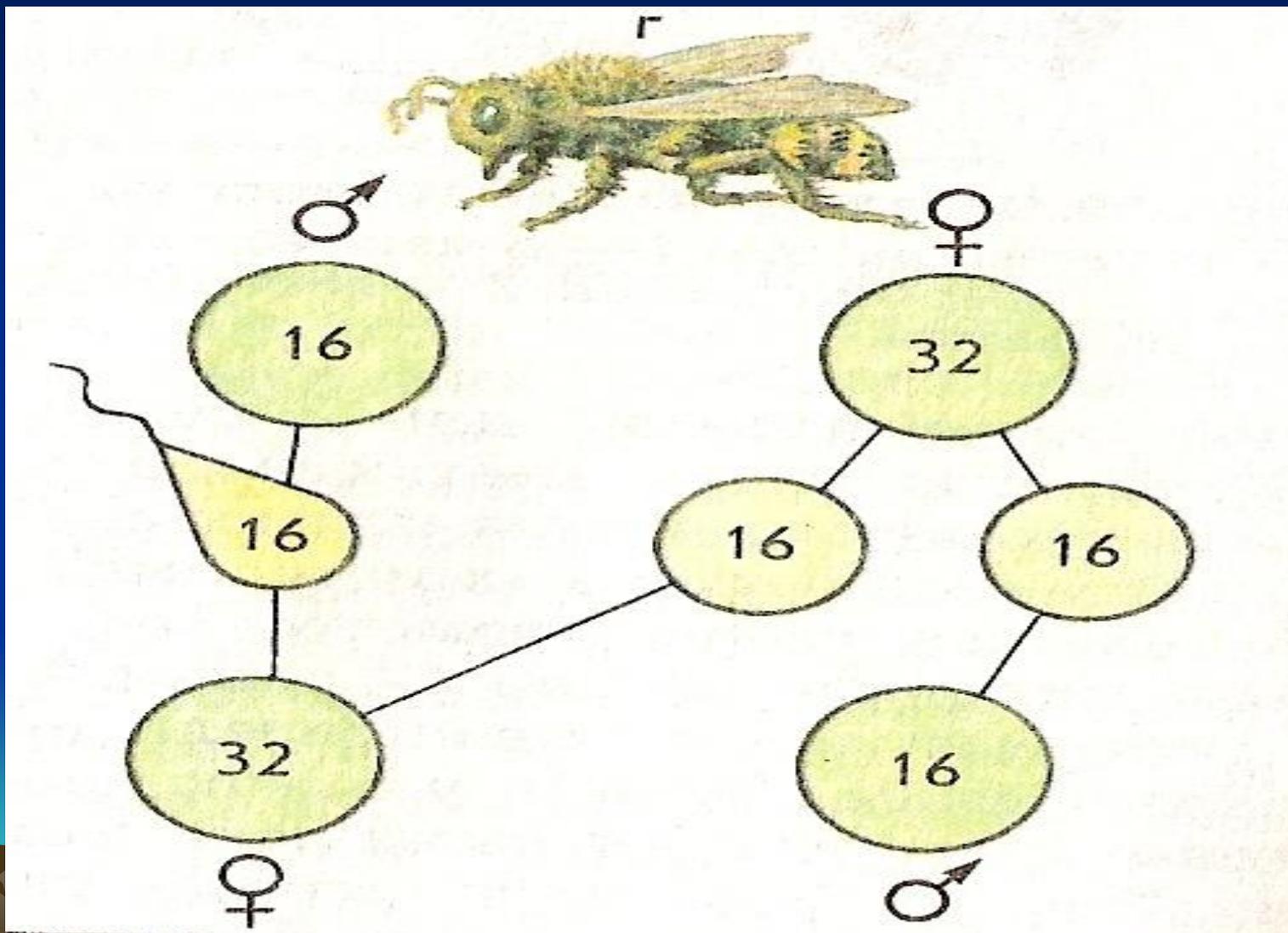
♀ 2n ♂ n

- Встречается у пчел и муравьев: самцы развиваются из неоплодотворенных гаплоидных яйцеклеток (партеногенез), самки – из оплодотворенных диплоидных).



FloraAnimal

Определение пола у пчел



Рыба-попугай

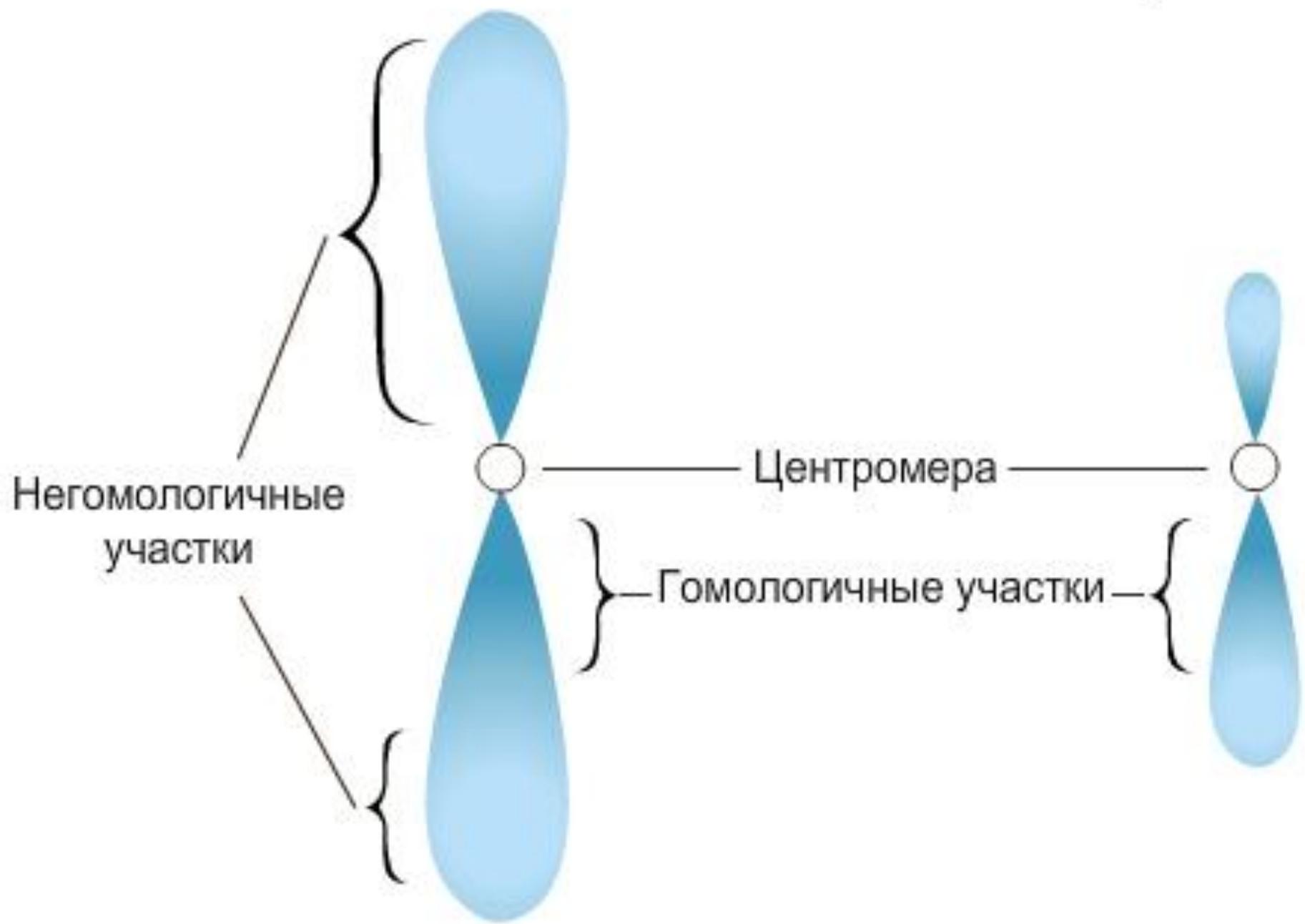


Признаки, гены которых
расположены в половых
хромосомах называются
сцепленные с полом.



Х-хромосома

Y-хромосома



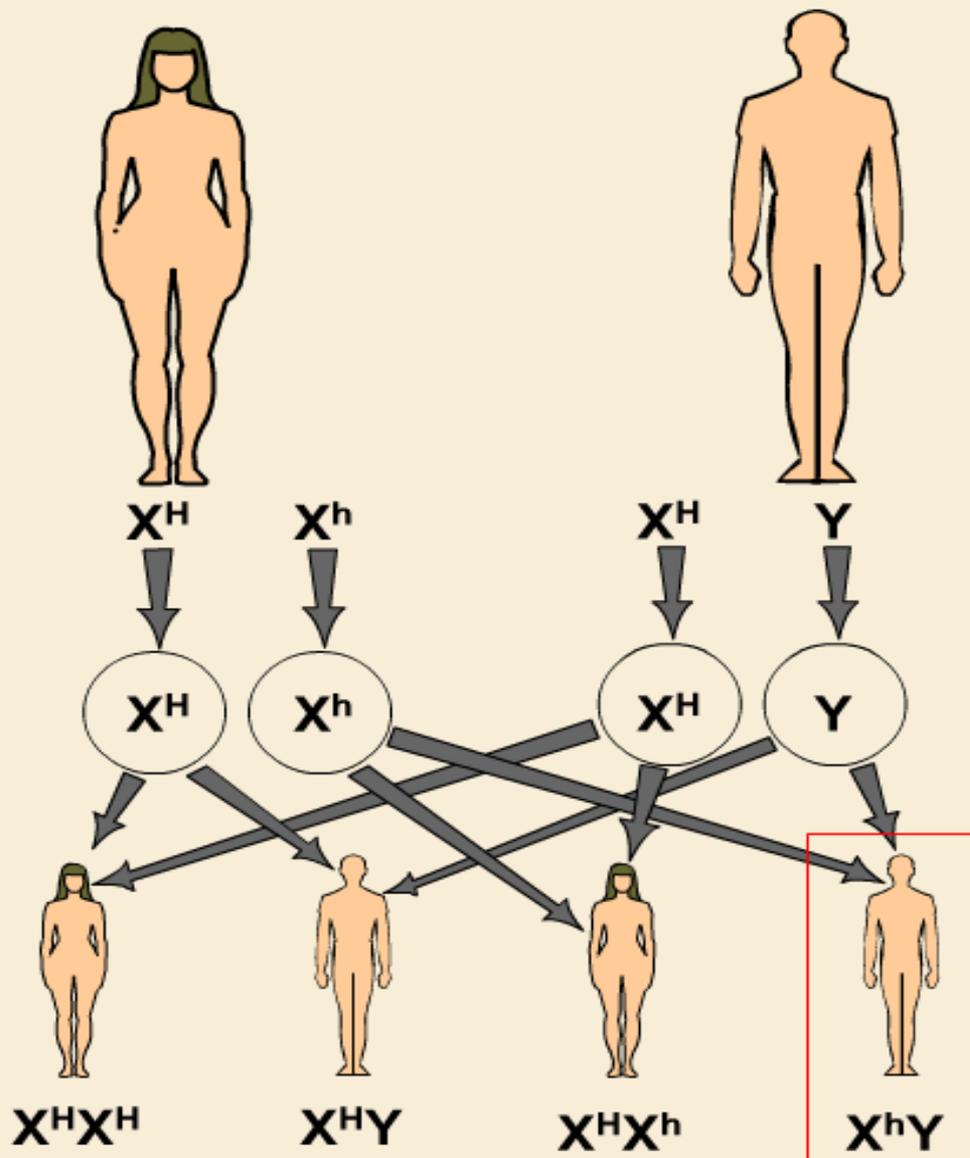
Ребенок с ихтиозом



Гипертрихоз



Наследование гемофилии



Рассмотрим, какое потомство может появиться у женщины, вступающей в брак с нормальным по этому признаку мужчиной

P: $X^H X^h$ X $X^H Y$
Носительница гена гемофилии Здоровый мужчина

G: X^H , X^h X^H , Y

F1: $X^H X^H$, $X^H X^h$, $X^H Y$, $X^h Y$
Здоровая девочка Девочка-носительница Здоровый мальчик Больной мальчик



P: $X^H X^h$ x $X^h Y$

G: X^H , X^h X^h , Y

F1: $X^H X^H$, $X^h X^h$, $X^H Y$, $X^h Y$

